Aus dem
Arbeitsphysiologischen Institut der Friedrich-Wilhelms-Universität zu Breslau
Direktor: Prof. Dr. Adolf Basler

Ueber die haemostatische Beeinflussung des Blutdruckes.

Inaugural-Dissertation

zur

Erlangung des Doktorgrades in der Medizin
bei der Medizinischen Fakultät der
Schlesischen Friedrich-Wilhelms-Universität
zu Breslau

Vorgelegt von

Fritz K. A. Olearius.

Breslau 1941.

Buchdruckerei und Verlag Eugen Jakubik, Breslau 10, Wörtherstrasse Nr. 6

Gedruckt mit Genehmigung
der medizinischen Fakultät der Universität Breslau.

I. Referent: Prof. Dr. Basler.

II. Referent: Prof. Dr. Schriever.

Dekan: Prof. Dr. Gottron.

R. UNIV
BIBLIOTHEEK
LEIDEN

Meinen lieben Eltern in Dankbarkeit!

Schon häufig wurde bei Untersuchungen, die den Einfluß der Körperlage auf den Blutdruck zum Gegenstand hatten, festgestellt, daß der Blutdruck nicht in demselben Maße steigt bzw. sinkt, wie der nach der Herzhöhe berechnete hydrostatische Druck der Blutsäule.

Der erste, der auf dieses Mißverhältnis hinwies, war v. Kries[1]). Bei seinen Kapillardruckmessungen an der Fingerhaut stellte er fest, daß der Wert des Kapillardrucks stets kleiner war, als der Wert des nach der Herzhöhe berechneten hydrostatischen Drucks der Blutsäule, gleichgültig, ob die Hand gehoben oder gesenkt worden war.

Daß der Blutdruck in den Venen meist geringer ist als der hydrostatische Druck der auf ihnen lastenden Blutsäule, haben v. Recklinghausen[2]), Hooker[3]) sowie Carrier und Rehberg[4]) für die untere Extremität gezeigt. Nur die arteriellen Blutdruckwerte sollen nach v. Recklinghausen[5]) in dem gleichen Verhältnis steigen und fallen wie die Herzhöhe über dem untersuchten Gefäß.

Bei der großen praktischen Bedeutung der Blutdruckhöhe in den einzelnen Gefäßabschnitten schien es erwünscht, für alle Gefäßarten systematisch den Einfluß der Lageveränderung auf den Blutdruck festzustellen. Deshalb bin ich gern der Aufforderung von Herrn Prof. Dr. A. Basler gefolgt, Untersuchungen über die hämostatische Beeinflussung des Blutdrucks auszuführen.

Meine Beobachtungen mußten sich somit auf den Druck in den Arterien, Kapillaren und Venen der gleichen Körperregion erstrecken.

---

[1]) N. v. Kries: Ber. d. kgl. Sächs. Ges. d. Wissensch. math.-phys. Klasse, 16. Juni 1875, S. 149.

[2]) H. v. Recklinghausen: Arch. f. exp. Path. u. Ther. 55.94, 376 (1906).

[3]) D. R. Hooker: The Americ. Journ. of Physiol. 28.247, 235 (1911).

[4]) Carrier u. Rehberg: Skand. Arch. f. Physiol. 44.26 (1923).

[5]) H. v. Recklinghausen: l. c. 55.498 (1906).
E. Bröking: Zeitschrift f. exp. Path. u. Ther. 4.224 (1907).

Allgemeiner Gang der Untersuchung.

Da ich einen möglichst großen Unterschied des Druckgefälles je nach der Körperlage erhalten wollte, wurden die Bestimmungen für alle drei Gefäßarten am Fuß vorgenommen. Die erste Messung wurde im Liegen ausgeführt, wobei der untersuchte Gefäßabschnitt ungefähr in gleicher Höhe wie das Herz lag. Danach wurden die Messungen an Arterien, Kapillaren und Venen im Sitzen vorgenommen, mit einer „Herzhöhe", die bei allen Versuchspersonen ungefähr 80 cm betrug. Und schließlich wurde noch im Stehen gemessen unter dem Einfluß einer Niveaudifferenz von ungefähr 110 cm. Die Messungen konnten also bei sehr verschiedener Höhe der Blutsäulen vorgenommen werden.

Es muß noch erwähnt werden, daß ich aus praktischen Gründen für die Blutdruckmessungen an allen drei Gefäßarten als Normalniveau die Höhe des Herzspitzenstoßes gewählt habe. Unter „Herzhöhe" ist daher im Folgenden der senkrechte Abstand der gemessenen Stelle von der Höhe des Herzspitzenstoßes zu verstehen.

Ergänzend möchte ich noch hinzufügen, daß sämtliche Zahlen Druchschnittswerte von wenigsten vier Messungen darstellen, so daß jede angegebene Größe mehrere Beobachtungen in sich schließt.

Es standen mir für die Versuche ausschließlich männliche Individuen zur Verfügung, die sich alle im Alter von 20—30 Jahren befanden. Das relativ jugendliche Alter der Versuchspersonen war für die Kapillarmessungen besonders günstig, weil der Nagelfalz der Zehen noch nicht so abgearbeitet war wie bei älteren Individuen, so daß die Messungen dadurch leichter wurden.

Der arterielle Blutdruck in der Großzehe bei verschiedener Körperlage.

Einleitend sei darauf hingewiesen, daß die arteriellen Blutdruckmessungen bei allen Versuchspersonen am rechten Hallux vorgenommen worden sind.

Zur Druckmessung in der A. dors. hallucis kam nur die Gaertnersche Methode[1]) in Frage, da sowohl die Blutdruckmessung nach Riva-Rocci wie die nach v. Recklinghausen eine Pulskontrolle durch Auskultatin oder Palpation in der Peripherie erfordern, was bei der A. dors. hallucis nicht möglich ist.

Doch der untersuchten Körperstelle entsprechend wurde die Manschette, die bekanntlich bei dem Gaertner'schen Originalapparat aus einem in sich geschlossenen Ring besteht, nach den

[1]) G. Gaertner: Münch. med. Woch. Bd. 47, 1900, S. 1195.

Angaben von Herrn Prof. Dr. Basler durch einen zusammenrollbaren Schlauch ersetzt, wie dies Abbildung 1 zeigt.

Abbildung 1
a) der eigentliche Gummibehälter; b) Gurt zum Umschnüren; c) Schlauchansatz.

Die Einrichtung stellt eine verkleinerte Kopie der Recklinghausen'schen Manschette dar und hat wie diese einen seitlichen Schlauchansatz zur Herstellung der Verbindung mit dem Manometer und der Kompressionseinrichtung.

Abbildung 2 zeigt die Versuchsanordnung bei der arteriellen Blutdruckmessung in der Großzehe.

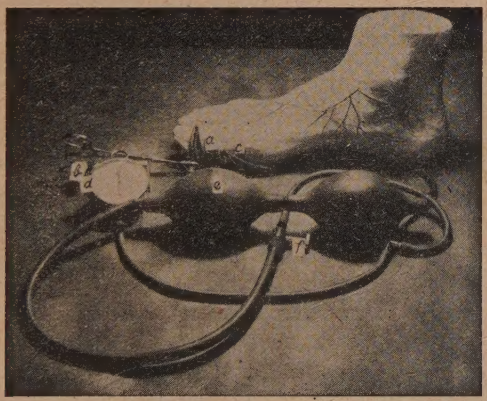

Abbildung 2
Aufstellung für die Messung des arteriellen Blutdrucks. a) Manschette, b) Gummischlauch mit Arterienklemme, c) Schlauchansatz, d) Manometer, e) Gummigebläse, f) Schraube.

Die Druckbestimmung ging in folgender Weise vonstatten. Zuerst wurde die kleine Manschette möglichst weit proximal um das Grundglied der großen Zehe gewickelt. Dann formte ich aus einem dünnen nachgiebigen Schlauch mit einer Arterienklemme einen für den Hallux passenden Ring und streifte diesen vom Nagel

her bis dicht an die Manschette heran, wodurch das ganze, distal von der Manschette liegende Gebiet blutleer wurde. Dann wurde die Manschette mit dem Gummiballon aufgeblasen und dadurch der Zustrom des Blutes verhindert, auch nachdem der Gummiring durch Öffnen der Arterienklemme entfernt worden war. Dadurch daß nunmehr die in der Manschette enthaltene Luft durch Lockerung der Schraube langsam zum Entweichen gebracht wurde, ließ der Druck in der Manschette nach, bis schließlich das Blut wieder in die blutleere Endphalanx einströmen konnte. Der erste Farbumschlag vom Anämischen in Rötliche wurde in der von Gaertner angegebenen Art als Indicator benutzt. Der bei ihm in dem Schlauchsystem herrschende Druck wurde abgelesen und der Wert dieser Ablesung gleich dem systolischen Blutdruck in der A. dors. hallucis gesetzt. Zur Druckbestimmung diente ein Manometer, das durch einen Gummischlauch mit der Manschette verbunden war.

Im Folgenden sind die arteriellen Blutdruckwerte in der Reihenfolge aufgeführt, wie die Messungen vorgenommen wurden. Zum leichteren Vergleich mit den hämostatischen Höhenwerten der Blutsäule sind die gemessenen Quecksilber-Druckwerte in Zentimeter-Blutsäule umgerechnet, indem die Quecksilberwerte mit 13,5 (13,60—0,06 = 13,54) multipliziert wurden.

Bei der Versuchsperson Weigert wurden im Liegen, Sitzen und Stehen folgende Werte gemessen:

Im Liegen 85 mm Hg = 114,8 cm Blutsäule
Im Sitzen 143 „ „ = 194,1 „ „
Im Stehen 145 „ „ = 195,8 „ „

Der gleiche Versuch wurde bei einer ganzen Reihe von Versuchspersonen wiederholt. Das Ergebnis lasse ich in Form einer Tabelle folgen.

Tabelle 1.

Versuchsperson	Liegen Druck in		Sitzen Druck in		Stehen Druck in	
	mm Hg	cm Blut	mm Hg	cm Blut	mm Hg	cm Blut
Pohl	106	143,1	153	206,6	186	251.1
Malcharek	55	74,3	93	125,6	130	175,5
Stock	89	120,2	120	162,0	158	213,3
Kloke	70	94,5	155	209,3	185	297,7
Minsapost	66	89,1	109	147,2	122	164,7
Weber	90	121,5	105	141,0	160	216,0
Pressa	70	94,5	138	186,3	160	216,0
Bleß	60	81,0	81	109,4	118	159,3
Wiprecht	100	135,0	150	116,0	180	243,0

Beziehung der gefundenen Druckwerte zur Höhe der Blutsäule.

Wie aus der Tabelle 1 hervorgeht, ließ sich also beim Aufrichten des Körpers in der oben angegebenen Weise in jedem Falle eine beträchtliche Steigerung der arteriellen Blutdruckwerte feststellen. Entspricht nun die Steigerung der gemessenen, arteriellen Druckwerte der Zunahme der Höhe der Blutsäule beim Wechsel vom Liegen zum Sitzen bzw. Sitzen zum Stehen, wie dies, rein physikalisch betrachtet, zu erwarten wäre?

Der Druck Dg, der in einem Abschnitt des arteriellen Gefäßsystems herrscht, setzt sich zweifellos aus zwei Komponenten zusammen; einmal aus dem Druck, der durch die Pumpwirkung des Herzens zustande kommt. Dieser Anteil des Drucks heiße Dp. Dieser hämodynamische Druck wird natürlich weitgehend abhängig sein von dem Lumen der Abflußgefäße hinter dem untersuchten Gebiet. Wird das Lumen enger, so wird der Druck höher. Hier sei angenommen, daß das abfließende Blut stets den gleich bequemen Weg zur Verfügung hat.

Die zweite Komponente ist der hämostatische Druck Dh, der einzig und allein von der Herzhöhe abhängt.

Die Komponente Dp ist allein vorhanden im Liegen, weil da die hämostatische Komponente Dh = O ist, und wenn wir die hämostatische Komponente Dh für eine bestimmte Körperhaltung finden wollen, dann müssen wir von dem gefundenen Gesamtblutdruck Dg den durch die Pumpwirkung des Herzens bedingten Dp, also den im Liegen gefundenen Druck abziehen. Auf diese Weise wurde die hämostatische Komponente für das Sitzen und Stehen in der folgenden Tabelle berechnet und mit der Herzhöhe zusammengestellt.

Die „Herzhöhen" und die errechneten hämostatischen Druckwerte betragen also:

Tabelle 2.

Versuchsperson	Sitzen		Stehen	
	Herzhöhe	Hämostat. Druck	Herzhöhe	Hämostat. Druck
Pohl	82 cm	63,5 cm	108 cm	108,0 cm
Weigert	88 cm	78,3 cm	130 cm	81,0 cm
Malcharek	81 cm	51,3 cm	117 cm	101,2 cm
Stock	80 cm	41,8 cm	112 cm	93,1 cm
Kloke	85 cm	114,8 cm	120 cm	203,2 cm
Minsapost	83 cm	58,1 cm	118 cm	72,6 cm
Weber	82 cm	20,3 cm	114 cm	94,5 cm
Pressa	85 cm	91,8 cm	119 cm	121,5 cm
Bleß	82 cm	28,4 cm	125 cm	78,3 cm
Wiprecht	71 cm	67,5 cm	122 cm	108,0 cm

Mit Ausnahme von drei Fällen, die ich in der Tabelle unterstrichen habe, waren die arteriellen Druckwerte nicht in dem gleichen Maße vergrößert wie die Herzhöhe. Bei Kloke und Pressa war gerade im Sitzen der Blutdruck in der großen Zehe besonders hoch. Im Fall Pohl, wo der Blutdruck im Stehen dem hydrostatischen Werte entspricht, handelt es sich um eine Skoliose. Es wäre also bei normalem Körperbau die Herzhöhe etwa 5—10 cm höher in Ansatz zu bringen.

Der Kapillardruck bei verschiedener Körperlage.

Weil die Bestimmung möglichst einfach geschehen mußte, habe ich mich auf Vorschlag von Herrn Prof. Dr. Basler nicht der neueren Apparate, wie des Ochrometers [1]) oder Hautmanometers [2]) bedient, sondern der primitivsten Methode, der alten von Kries-'schen.

Wenn wir von den bei der Glasplattenkompression unvermeidlichen Fehlern absehen, dann ergab sich für deren Anwendung in meinen Versuchen nur eine Schwierigkeit, die darin bestand, daß die Haut des Nagelfalzes im Liegen senkrecht stand, im Sitzen und Stehen aber nahezu horizontal. Deshalb hatte Herr Prof. Basler schon früher eine Einrichtung gebaut, bei der die von Kries'sche Gewichtsbelastung durch Federspannung ersetzt ist. Sie sei im Folgenden beschrieben.

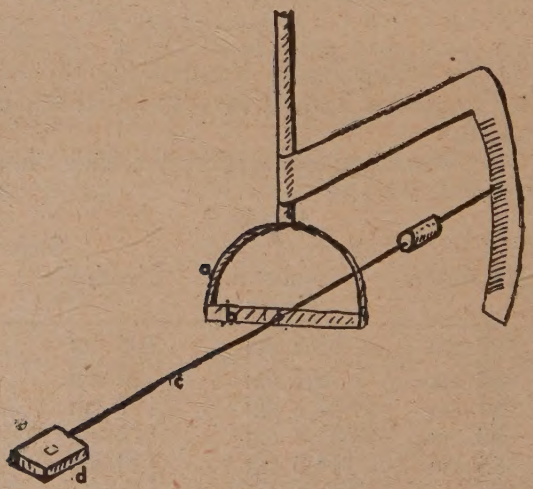

Abbildung 3
Apparat zur Bestimmung des Kapillardrucks.

[1]) A. Basler: Pflüg. Arch. Bd. 147, S. 393, 1912.
[2]) A. Basler: Pflüg. Arch. Bd. 159, S. 345, 1914.

Zwischen den freien Enden des Bogens a ist eine Uhrfeder b gespannt, in deren Mitte der Metallstab c befestigt ist, welcher in den kleinen Rahmen d ausläuft. Der Rahmen umschließt eine kleine Glasplatte, an deren unterer Fläche mit Kanadabalsam ein Glaswürfel aufgeklebt ist, der zur Kompression der Haut dient. Wird der Würfel gegen ein Stück Haut gepreßt, gleichgültig, ob dieses senkrecht oder waagerecht steht, so wird die Feder torquiert und übt dadurch eine Kraft aus, die um so größer ist, je mehr der Hebel abgelenkt wird. Auf der anderen Seite der Feder gibt ein leichter Zeiger die Werte in Wasserdruck unmittelbar an. Jeder Teilstrich bedeutet 4 cm Wassersäule. Zur Aufhellung des Zehennagelfalzes wurde vor dem Aufsetzen der Glasplatte ein Tropfen Glyzerin auf den Falz gegeben. Leichtes Erblassen der komprimierten Hautstelle wurde identifiziert mit dem Innendruck der Kapillaren, während totale Anämie dem Innendruck der Arteriolen gleichgesetzt wurde.

Es seien hier zunächst die für die Arteriolen gewonnenen Werte angegeben, die ebenfalls in Zentimeter-Blutsäule dadurch umgerechnet wurden, daß die Wasserwerte durch 1,06 dividiert wurden.

Tabelle 3

Versuchsperson	Liegen Druck		Sitzen Druck		Stehen Druck	
	Teilstriche	cm Blut	Teilstriche	cm Blut	Teilstr.	cm Blut
Pohl	7	26,3	12	45,1	14	52,6
Weigert	11	41,4	16	60,2	20	75,2
Malcharek	4	15,0	8	30,1	14	52,6
Stock	12	45,1	12	45,1	14	52,6
Kloke	11	41,4	12	45,1	16	60,2
Minsapost	9	33,8	18	67,6	20	75,2
Weber	6	22,5	7	26,3	9	33,8
Pressa	6	22,5	6	22,5	8	30,1
Bleß	7	26,3	10	37,6	16	60,2
Wieprecht	7	26,3	9	33,8	11	41,4

Es kann also festgestellt werden: das Druckgefälle von den Arterien zu den Arteriolen war in allen Körperlagen sehr groß. Die Druckwerte steigen — gleich den arteriellen — im Sitzen und Stehen an. Die Blutdruckwerte der Arteriolen blieben immer hinter den errechneten hydrostatischen Komponenten zurück. Dies sei in folgender Tabelle veranschaulicht.

Tabelle 4

Versuchsperson	Sitzen		Stehen	
	Herzhöhe	Hämostat. Druck	Herzhöhe	Hämostat. Druck
Pohl	82 cm	18,8 cm	108 cm	26,3 cm
Weigert	88 cm	28,8 cm	130 cm	33,8 cm
Malcharek	81 cm	15,1 cm	117 cm	37,6 cm
Stock	80 cm	—	112 cm	7,5 cm
Kloke	85 cm	3,7 cm	120 cm	28,8 cm
Minsapost	83 cm	33,8 cm	118 cm	41,4 cm
Weber	82 cm	3,8 cm	114 cm	11,3 cm
Pressa	85 cm	—	119 cm	7,6 cm
Bleß	82 cm	11,3 cm	125 cm	43,8 cm
Wieprecht	71 cm	7,5 cm	122 cm	15,1 cm

Es folgen nunmehr die Ergebnisse der Messungen der eigentlichen Kapillaren.

Tabelle 5

Versuchsperson	liegend		sitzend		stehend	
	Teilstriche	Blutsäule	Teilstriche	Blutsäule	Teilstriche	Blutsäule
Pohl	2	7,5 cm	4	15,0 cm	5	18,8 cm
Weigert	4	14,0 cm	6	22,5 cm	10	37,6 cm
Malcharek	2	7,5 cm	3	11,3 cm	5	18,8 cm
Stock	5	18,8 cm	5	18,8 cm	6	22,5 cm
Kloke	4	15,0 cm	5	18,8 cm	8	30,1 cm
Minsapost	5	18,8 cm	6	22,5 cm	6	22,5 cm
Weber	3	11,3 cm	3	11,3 cm	4	15,0 cm
Pressa	2	7,5 cm	3	11,3 cm	3	11,3 cm
Bleß	3	11,3 cm	4	15,0 cm	7	26,3 cm
Wieprecht	3	11,3 cm	6	22,5 cm	7	26,3 cm

Auch für den feinsten Gefäßabschnitt gilt die Regel, daß bei höheren hydrostatischen Druckwerten ebenfalls die Blutdruckwerte sich erhöhten, jedoch auch wieder viel zu wenig. Ja gerade hier bei den Kapillaren war das Mißverhältnis am größten.

Der venöse Blutdruck bei verschiedener Körperlage.

Zur Druckmessung mußte auch hier der Fuß dienen. Am geeignetsten für diese Versuche erwies sich eine Hautvene auf dem Fußrücken, die ich zwar nicht bei allen, aber doch bei den meisten meiner Versuchspersonen fand. Das Prinzip der Methode bestand darin, daß ein in der Nähe einer Klappe befindlicher Venenabschnitt unter meßbarem Druck komprimiert und durch proximales Streichen

blutleer gemacht wurde, und dann unter Nachlassen des Druckes beobachtet wurde, wann sich die Vene wieder füllte. Zur Ausführung der Versuche diente folgende Einrichtung, die auch wieder nach den Angaben von Herrn Prof. Dr. Basler angefertigt worden war.

Abb. 4: Apparat zur Messung des Druckes in den Venen.

Ein etwa 1,5 cm weites Messingrohr a, das auf der einen Seite luftdicht mit einer dünnen Gummimembran überzogen war, war auf der anderen Seite durch ein T-Stück mit einem Gummiballon e als auch mit einem Wassermanometer d verbunden. Der Zylinder wurde mit der etwas vorgebuchteten Gummimembran in der Nähe einer Venenklappe auf eine Vene des rechten Fußrückens aufgesetzt und die Membran durch Bedienen des Gummiballons soweit gespannt, daß nach proximalem Streichen auf der Vene diese blutleer wurde. Durch Senken des Drucks in dem Rohr konnte sich die Vene wieder füllen. Bei dem ersten Hindurchtreten des Blutstromes wurde der Stand des Wassermanometers abgelesen. Der so gefundene Wert wurde dem Druck in der Vene gleichgesetzt. Da der Druck in dem Messingrohr um sehr kleine Beträge erhöht werden mußte, kam ich mit einem gewöhnlichen Gebläse nicht aus, weil sich bei den geringen Druckunterschieden die Ventile nicht prompt genug schlossen. Deshalb arbeitete ich nur mit einem Gummiballon, den ich zur Regulation des Druckes in einer kleinen Presse — ähnlich der von Gaertner angegebenen [1]) — komprimierte.

[1]) A. Basler: Pflüg. Arch. 173, S. 389, 1919.

Die Messungen wurden an einer gutgefüllten Hautvene des rechten Fußrückens vorgenommen. Die gewonnenen Werte waren folgende:

Tabelle 6

Versuchsperson	liegend mm Hg	liegend cm Bluts.	sitzend mm Hg	sitzend cm Bluts.	stehend mm Hg.	stehend cm Bluts.
Pohl	4	5,4	25	33,8	49	66,2
Weigert	2	2,7	43	58,1	60	81,0
Malcharek	2	2,7	40	54,0	58	78,3
Stock	12	16,3	35	47,3	58	78,3
Kloke	9	12,2	30	40,5	40	54,0
Minsapost	4	5,4	29	39,2	49	66,2
Weber	Vene völlig kollabiert		22	29,7	38	51,3
Pressa	1	1,4	14	18,8	20	27,0
Bleß	7	9,5	18	24,3	28	37,8
Wieprecht	5	6,8	27	36,5	37	50,0

Auch die venösen Druckwerte steigen demnach nicht in dem gleichen Maße wie die hydrostatischen Werte der durch Wechsel der Körperlage veränderten Blutsäule.

Bemerkungen zu den Versuchsergebnissen.

Wenn in der Arteria dorsalis pedis der Blutdruck im Liegen 114,8 Zentimeter Blutsäule beträgt, im Stehen aber 195,8 Zentimeter, dann ist das wesentlich weniger als wir rechnerisch erwartet hätten, denn zu dem hämodynamischen Druck von 114,8 Zentimeter müßte noch der hämostatische Druck hinzutreten, nämlich 130 Zentimeter. Der Druck im Stehen müßte also betragen 114,8 + 130,0 = 244,8.

In dem gemessenen Druck von 195,8 cm sind 130,0 cm hämostatischer Druck enthalten. Also wäre durch das Stehen die hämodynamische Komponente von 114,8 auf (195,8 – 130,0 =) 65,8 cm Blutsäule heruntergegangen. Daß dies physikalisch erklärbar ist, wurde schon mehrfach hervorgehoben. Stigler [1]) hat das in ausgezeichneter Weise dargestellt und mit einem Modell erläutert. Wir können annehmen, daß durch das Stehen die Venen gedehnt werden und deshalb dem Blutstrom einen geringeren Widerstand entgegensetzen.

Es wirft sich jetzt noch die Frage auf, ob noch andere Momente den hämodynamischen Anteil des Druckes herabsetzen können.

[1]) R. Stigler: Haemostatische Untersuchungen. Abderhaldens Hdb. d. biol. Arbeitsmethoden Abt. V, Teil 4, 2. Hälfte, S. 1259.

Und da kommt in erster Reihe eine ebenfalls schon lange bekannte Erscheinung in Betracht. Im Stehen ist bei gleicher Herzhöhe der arterielle Blutdruck ein anderer als im Liegen.

Durch eigene Blutdruckmessung an der Arteria brachialis mit der v. Recklinghausen'schen Methode im Liegen, Sitzen und Stehen konnte allerdings nur eine geringe Steigerung der systolischen Werte um etwa 5 mm Quecksilber festgestellt werden. Wurde längere Zeit gestanden, so stieg der systolische Druck nach 2 Minuten auf 10 mm Quecksilber und blieb 10 Minuten lang auf dieser Höhe, um dann wieder zu sinken. Nach 20 Minuten war der Ausgangswert erreicht. Der diastolische Druck steigerte sich nach 3 Minuten um 10 mm Quecksilber, nach 10 Minuten um 20 mm Quecksilber, nach 20 Minuten war er noch um 10 mm Quecksilber erhöht. Von einer wesentlichen Steigerung des Blutdruckes in der Arteria brachialis im Stehen kann also nicht gesprochen werden.

Diese allgemeine Steigerung des Blutdrucks kann zu einer Erklärung des Verhaltens nicht herangezogen werden, denn dadurch müßte ja der Druck höher werden.

In noch weit höherem Maße als bei den Arterien war die Übereinstimmung des experimentell gefundenen und des kalkulierten Druckes in den Venen zu vermissen.

Auch von Recklinghausen[1]) fand als Druck in einer Vene des Fußrückens im Liegen 9 cm Wasser, im Sitzen 62 cm Wasser und im Stehen 79 cm Wasser. Gegenüber dem Vertikalabstand der Meßstelle von der Herzhöhe ergab sich ein zu kleiner Venendruck um 15 cm Wasser beim Sitzen und um 41 cm Wasser beim Stehen. Ich habe noch kleinere Werte gefunden.

Bei der gleichen Versuchsperson, die wir für die Besprechung des arteriellen Drucks herangezogen hatten, betrug der Venendruck im Liegen 2,7 cm Blutsäule, im Stehen 81,0 cm Blutsäule. Der Druck in den Fußvenen war also viel kleiner als die Höhe des Herzens über der untersuchten Hautstelle. Die Erniedrigung des Druckes kann in diesem Falle also nicht darauf beruhen, daß der hämodynamische Druck niedriger wird. Aber auch dafür gibt es bis zu einem gewissen Grad eine physikalische Erklärung, nämlich das Vorhandensein der Venenklappe.

Ich gebe hier die äußerst anschauliche Darstellung von Stigler[2]) wieder: „Die Venen der Beine sind, offenbar infolge unwillkürlicher Bewegungen, in der Regel nicht prall gefüllt, sondern es bestehen zwischen je zwei Klappen Abschnitte mit positiver und negativer Wandspannung. Jeder Abschnitt hat etwa die

[1]) H. v. Recklinghausen: Arch. f. exp. Path. u. Parm. 55.149 (1906).
[2]) R. Stigler: l.c. S. 1284 u. 1287.

Gestalt eines aufgehängten Gummibeutels. Jeder solche Abschnitt zwischen zwei Klappen ist in seinem unteren Teil positiv, in seinem oberen negativ gespannt."

Die leichtesten Muskelbewegungen im stehenden Bein, die nicht zu unterdrücken sind, genügen schon, um die einzelnen Venensegmente zu entleeren[1]). Bei allzu langem, ruhigem Stehen allerdings füllen sich von unter her beginnend immer mehr Venenabschnitte, bis schließlich auf den Fußvenen die ganze Blutsäule lastet[2]). Aber dann findet man auch höhere Druckwerte.

So sind die bisher mitgeteilten Druckwerte, wenn sie auch paradox erscheinen, zu verstehen.

Ganz auffallend ist jedoch eine Tatsache, die zwar aus den oben mitgeteilten Tabellen hervorgeht, die ich aber an dieser Stelle noch einmal besonders hervorheben möchte.

Während sich im Allgemeinen ein Druckgefälle von den Arterien zu den Venen experimentell nachweisen läßt, wird diese Gesetzmäßigkeit beim Sitzen und Stehen durchbrochen. Manche Druckwerte der Venen erreichen sogar diejenigen der Arteriolen. Es kann also von einem Druckgefälle von den Kapillaren zu den „kleinen Hautvenen" in sitzender und stehender Körperlage nicht mehr gesprochen werden.

In folgender Tabelle seien zur besseren Übersicht die venösen und die kapillaren Blutdruckwerte gegenübergestellt:

Tabelle 7

liegend		sitzend		stehend	
Kap. Druck	Ven. Druck	Kap. Druck	Ven. Druck	Kap. Druck	Ven. Druck
7,5 cm	5,4 cm	15,0 cm	33,8 cm	18,8 cm	66,2 cm
15,0 cm	2,7 cm	22,5 cm	58,1 cm	37,6 cm	81,0 cm
7,5 cm	2,7 cm	11,8 cm	64,0 cm	18,8 cm	78,3 cm
18,8 cm	16,3 cm	18,8 cm	47,3 cm	22,5 cm	78,3 cm
15,0 cm	12,2 cm	18,8 cm	40,5 cm	30,1 cm	54,0 cm
18,8 cm	5,4 cm	22,5 cm	39,2 cm	22,5 cm	66,6 cm
11,3 cm	—	11,3 cm	29,7 cm	15,0 cm	51,3 cm
7,5 cm	1,4 cm	11,3 cm	18,9 cm	11,3 cm	27,0 cm
11,3 cm	9,5 cm	11,3 cm	24,3 cm	26,3 cm	37,8 cm
11,3 cm	6,8 cm	22,5 cm	36,5 cm	26,3 cm	50,0 cm

[1]) Hooker: Americ. Journ. of Physiol. 28, 235.
[2]) Hooker: l. c. 28. 247 (1911).

Man könnte mir zum Vorwurf machen, daß die Werte für den Kapillardruck mit der meist verlassenen Methode der Glasplattenkompression nicht genau genug sind. Demgegenüber ist zu sagen, daß der einzige Fehler der sein könnte, daß der Druck durch die Glasplattenkompression zu hoch bestimmt wurde. Dann wäre der Druck in den Kapillaren noch kleiner.

Ist aber wirklich der Blutdruck in den Kapillaren der Fußhaut niedriger als in den Venen, dann stehen wir vor einem schwer zu lösenden Rätsel. Zweifellos findet auch bei langem Stehen eine, wenn auch nur zeitweise Strömung in den Kapillaren des Fußes statt; aber als Ursache für ihr Zustandekommen dürfen wir keine physikalischen Gründe suchen. Über die physiologischen Ursachen dieser Strömung etwas zu sagen wäre verfrüht.

Zusammenfassung der Versuchsergebnisse.

1. Der Druck in den Arterien des Fußes schwankte im Liegen zwischen 55 mm Hg = 74,3 cm Blutsäule und 100 mm Hg = 135,0 cm Blutsäule.

2. Beim Sitzen ließen sich Werte von 81 mm Hg = 109,4 cm Blutsäule und 155 mm Hg = 209,3 cm Blutsäule feststellen und im Stehen Werte von 118 mm Hg = 159,3 cm Blutsäule und 185 mm Hg = 297,7 cm Blutsäule.

3. Die entsprechenden Werte für die Arteriolen bewegten sich im Liegen zwischen

15,0 cm Bluts. und 45,1 cm Bluts., im Sitzen
22,5 cm Bluts. und 67,6 cm Bluts., im Stehen
30,1 cm Bluts. und 75,2 cm Blutsäule.

4. Der Druck in den Venen war im Liegen

1,4 cm Bluts. bis 16,3 cm Bluts. hoch, sitzend
18,9 cm Bluts. bis 58,1 cm Bluts. hoch, stehend
27,0 cm Bluts. bis 81,0 cm Bluts. hoch.

5. In allen Arten von Gefäßen war der Anstieg beim Sitzen und Stehen bei weitem nicht so groß, wie das entsprechend der Höhendifferenz zwischen untersuchtem Gefäß und Herz zu erwarten wäre.

6. Für die Arterien läßt sich die verhältnismäßig geringe Zunahme des Innendrucks dadurch erklären, daß durch die stärkere Blutfüllung die abführenden Gefäße erweitert und deshalb Widerstände für das abfließende Blut kleiner werden.

7. Bei den Venen bilden sich zwischen je zwei Klappen eingeschlossenen Gefäßstücke Säcke, die sich auf Druck durch die umgebende Muskulatur entleeren.

8. Beim Sitzen und Stehen war der Druck in den Kapillaren kleiner als in den Venen des Beines.

An dieser Stelle sei es mir gestattet, Herrn Prof. Dr. Basler herzlich zu danken für die Überlassung des Themas, die wertvollen Ratschläge und das überaus große Interesse, das er meinen Untersuchungen entgegenbrachte.

Lebenslauf.

Am 19. September 1910 wurde ich als vierter Sohn des Privatangestellten Karl Olearius in Breslau geboren. Nach vierjähriger Grundschulausbildung besuchte ich die ev. Realschule 1 und die Gerhart-Hauptmann-Oberrealschule zu Breslau, wo ich Ostern 1929 die Reifeprüfung bestand. Herbst 1935 begann ich Medizin zu studieren; ich studierte an den Universitäten Breslau und Leipzig. Das medizinische Staatsexamen beendete ich am 16. Mai 1940. Seit meiner Bestallung bin ich als Truppenarzt bei einer Artillerieabteilung eingesetzt.